

FOLGEN DES KLIMAWANDELS FÜR DIE GESUNDHEIT

Gerd Jendritzky, Freiburg

1. Einführung

Die Beziehungen von Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen zu Wetter und Klima, seinen atmosphärischen Umweltbedingungen sind Gegenstand täglicher Erfahrung. Der Hitzesommer 2003 mit europaweit etwa 55.000 hitzebedingter zusätzlicher Sterbefälle (ca. 7000 in Deutschland) kann hier als drastisches Beispiel dienen, welches die Verletzbarkeit der Gesellschaft bereits im heutigen Klima zeigt. Grundsätzlich können die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit direkter und indirekter Natur sein (Tab.1). Mögliche direkte Auswirkungen ergeben sich vor allem aus dem Anstieg der Häufigkeit oder Intensität von extremen Wetterereignissen (Hitzewellen, Überschwemmungen etc.). Vielfach wirken sich Änderungen des Klimas jedoch auf indirektem Weg aus, indem z.B. die Ökologie von Krankheitserregern und ihrer Überträgerorganismen, die Nahrungsproduktion oder Frischwasserversorgung gestört wird. Weitere Gesundheitsrisiken resultieren aus der Zunahme der Luftverschmutzung und der Luftallergene, der Zunahme der UV-Strahlung durch die stratosphärische Ozonabnahme sowie sozio-ökonomischen Verwerfungen. Auswirkungen auf das öffentliche Gesundheitswesen in Mitteleuropa könnten auch von Vertreibung bzw. Wanderungen von Bevölkerungen aufgrund von Konflikten, z.B. bei einem Meeresspiegelanstieg oder durch Nahrungsmittelmangel bei Dürre, ausgehen. Insgesamt hängen die Auswirkungen auf die Gesundheit dabei von zahl-

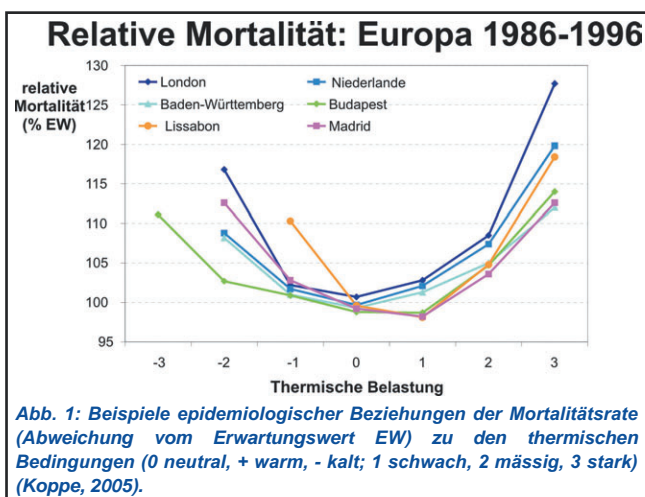
reichen sozioökonomischen, technologischen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen ab, welche die Anpassungsfähigkeit und damit die Verwundbarkeit der Gesellschaften bestimmen.

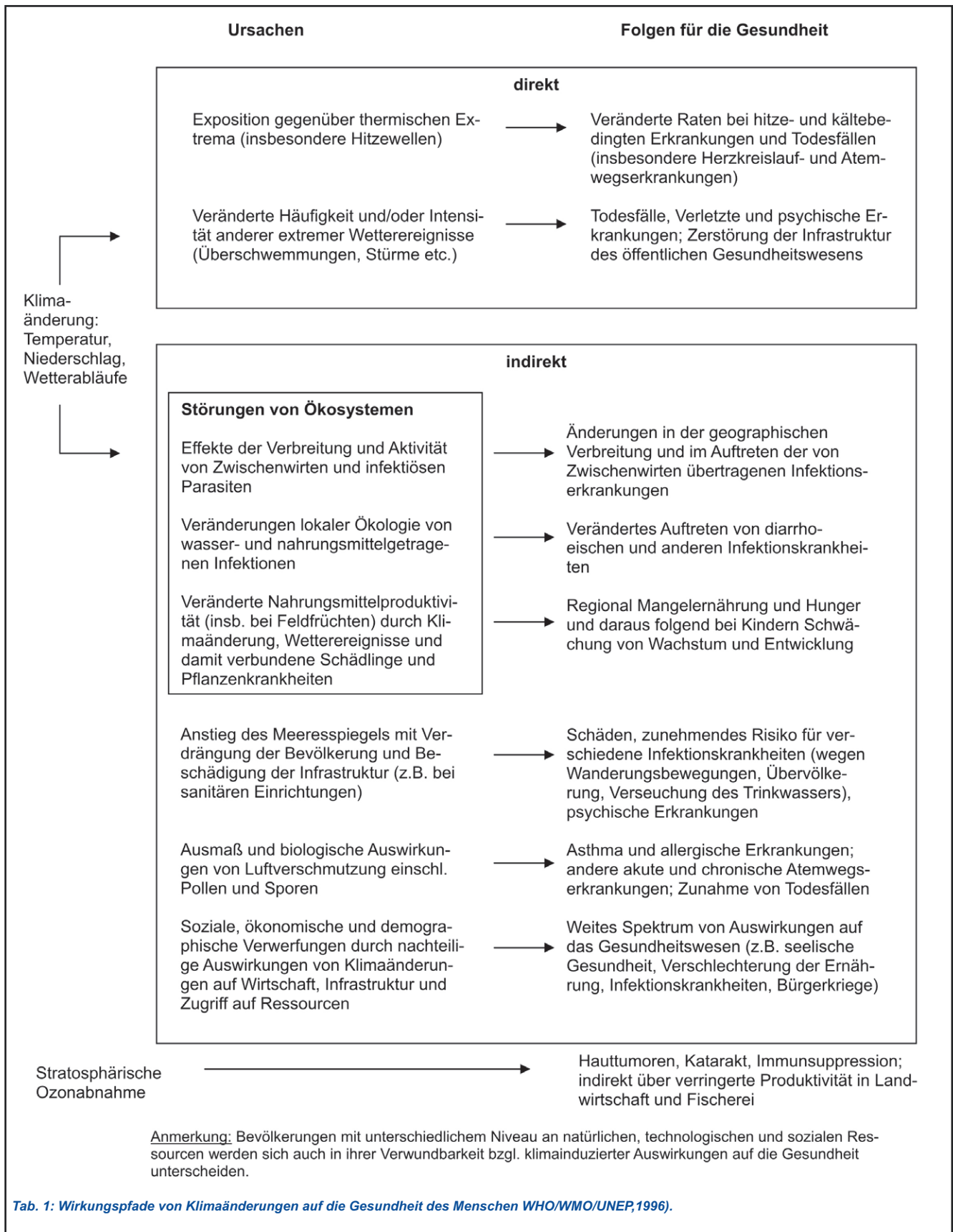
Auch wenn die potentiellen gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels aufgrund zahlreicher Unsicherheiten noch schwer abzuschätzen sind, müssen dringend Anpassungsstrategien entwickelt werden, um die Gesundheitsrisiken zu minimieren. Adaptation ist der Schlüsselbegriff zum Verständnis der Zusammenhänge. Grundsätzlich ist im Sinne einer radikalen Vorsorge eine nachhaltige Entwicklung zu fordern, mit der die gegenwärtigen Bedürfnisse der Gesellschaften gegen zukünftige Risiken ausgeglichen werden müssen

2. Thermische Belastungen

Selbst im gemäßigten Klima Mitteleuropas wird die menschliche Gesundheit durch thermische Belastungen nachteilig beeinflusst. Zahllose epidemiologische Studien weltweit belegen eindrucksvoll die gesundheitlichen Auswirkungen extremer thermischer Bedingungen, während unter Behaglichkeitsbedingungen ein Minimum der Mortalitätsrate beobachtet wird (Laschewski und Jendritzky, 2002). Dies spiegelt nur zum Teil den Jahresgang mit maximalen Mortalitätsraten im Winter und minimalen Mortalitätsraten im Sommer wider. Besonders bemerkenswert sind die hohen Werte der Mortalitätsrate während des saisonalen Minimums. Die höchsten Werte treten bei ausgeprägten Hitzewellen auf (Abb. 1). Betroffen sind überwiegend Personen mit Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen, insbesondere ältere multimorbide Menschen mit ihrer eingeschränkten Anpassungskapazität (Jendritzky et al., 1998), aber auch Kleinkinder aufgrund ihrer noch instabilen Thermoregulation. Die thermischen Belastungsstufen beruhen auf dem Bewertungsverfahren „Gefühlte Temperatur GT“ (Staiger et al., 1997) einschließlich des Adaptationsansatzes HeRATE (Koppe, 2005). Man erkennt, dass sich die Beziehungen der Mortalitätsrate in den unterschiedlichen Klimaten sehr ähnlich verhalten.

Die Beziehungen des Menschen zu seiner thermischen Umwelt sind im Sommer generell enger als im Winter, wo man sich meist nur kurzzeitig den äußeren thermischen Bedingungen aussetzt und sich häufig in geheizten Räumen aufhält. Deshalb sind die zugrunde liegenden Wirkungsmechanismen für die Zunahme der Mortalitätsrate mit zunehmendem Kältestress noch unklar (Laschewski und Jendritzky, 2002). Möglicherweise ist die Mortalitätsrate im Winter nur ein Anzeichen





für ein prinzipiell höheres Infektionsrisiko. Demzufolge sind Schlussfolgerungen über eine durch den Klimawandel (mildere Winter) bedingte Verringerung der winterlichen Mortalitätsraten hochgradig spekulativ. Studien, welche sich mit der Winter-Mortalität in Europa befassen, zeigen zudem höhere Mortalitätsraten in Regionen mit milderen Wintern (z.B. Großbritannien) als in Regionen mit kalten Wintern (z.B. Schweden) (Eurowinter Group, 1997).

Abb. 2 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus der Zeitreihe von Mortalitätsdaten aus Baden-Württemberg, die den Hitzesommer 2003 beinhaltet. Während dieses Sommers sind in Europa etwa 55.000 Tote (davon ca. 35.000 allein im August) der Hitze zuzuordnen (Kosatzky, 2005). Weitergehende Untersuchungen belegen, dass nur ein Teil der erhöhten Mortalität auf eine Vorverlagerung des Todeszeitpunktes um wenige Tage zurückzuführen ist. Das öffentliche Gesundheitssystem war praktisch nirgendwo vorbereitet, ebenso wenig die meisten nationalen Wetterdienste.

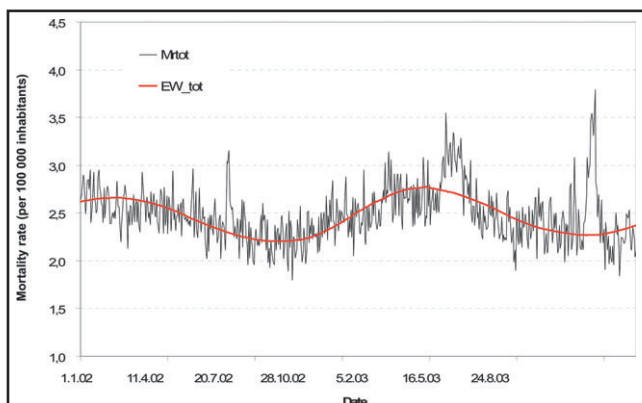


Abb. 2: Tägliche Mortalitätsraten (MR) in Baden-Württemberg 2002 bis Herbst 2003. Rote Linie: Erwartungswert auf Basis eines Gauß-Filters. Auffallend: MR Gipfel im Juni 2002 (kurze Hitzewelle), Episode im Frühjahr 2003 (im Zusammenhang mit einer Grippe-Epidemie), MR Spitzen im Juli und insbesondere August durch Hitzewellen (Schär und Jendritzky, 2004).

Auch wenn sich die vorliegenden Untersuchungen aufgrund der Datenverfügbarkeit überwiegend mit Mortalitätsraten beschäftigen, ist anzunehmen, dass sich thermische Belastungen auch nachteilig auf Morbidität, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden des Menschen auswirken. Sofern keine geeigneten Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden, muss bei einer Zunahme der sommerlichen thermischen Belastungen auch mit einer Zunahme dieser negativen Wirkungen gerechnet werden (Jendritzky, 2000). Basierend auf Simulationen der Klimaänderung mit HIRAM zeigt die Verteilung der Maximumtemperatur in Basel im Sommer 2003, dass dieser extreme Sommer,

Die Hitzewelle 2003 in Europa: Ein singuläres Ereignis?

IPCC WGI, 2001:

„Höhere Maximumtemperaturen und mehr heiße Tage über nahezu allen Landflächen sind sehr wahrscheinlich“

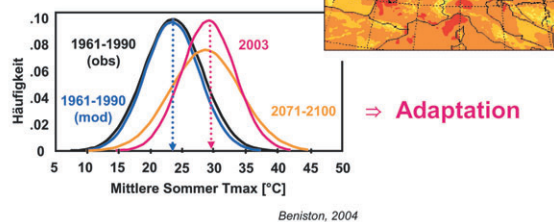


Abb. 3: Die Hitzewellen 2003 in Europa: Ein singuläres Ereignis? Quelle: Beniston 2004, verändert.

wenn die Modellprognose zutrifft, in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts in Mitteleuropa als Normalsommer angenommen werden muss (Abb. 3). Dies stimmt mit der Veränderung des Jahresmittelwertes der Gefühlten Temperatur in einem zukünftigen Klima (2041 – 2050) in Mitteleuropa im Vergleich zum Kontrolllauf (1971 – 1980), berechnet mit dem Zeitscheibenexperiment von ECHAM4 in T106 Auflösung unter der Annahme des „business-as-usual“ Szenarios (unveränderter CO₂-Ausstoß), überein (Abb. 4). Für Mitteleuropa muss im Hochsommer mit einer Erhöhung der Gefühlten Temperatur im Mittel um 3 – 7 °C gerechnet werden. Der dringende Bedarf, sich darauf einzustellen, ist offensichtlich. Kurzzeitige (I) und langfristige (II) Anpassungen werden lebenswichtig.

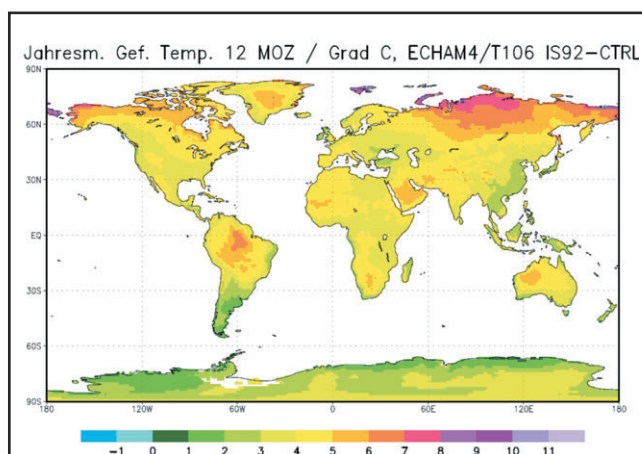


Abb. 4: Änderung des Jahresmittels der Gefühlten Temperatur GT in einem zukünftigen Klima (2041-2050) im Vergleich zum Klima 1971-1980 (Kontrolllauf) unter Annahme Immissionsszenario IS92a („business-as-usual“). Zeitscheibenexperiment ECAM4/T106. Quelle: Tinz und Jendritzky, 2007.

2.1 Kurzfristige Anpassungen

Zahlreiche Menschenleben hätten gerettet werden können, wenn – wie bei den WMO/WHO/UNEP Modellprojekten Rom und Shanghai empfohlen – geeignete Hitzewarnsysteme (Heat Health Warning Systems HHWS) 2003 in Europa im Einsatz gewesen wären. Solche Systeme basieren (a) auf der biometeorologischen Vorhersage der Überschreitung eines mit den Gesundheitsbehörden abgestimmten Schwellenwertes für thermische Belastung (Wärmebelastungsvorhersage). Die anschließenden Interventionen (b), die auf einem an die lokalen Bedingungen angepassten Notfallplan beruhen müssen, gehören in die Zuständigkeit des öffentlichen Gesundheitswesens. HHWSs müssen vorsorglich geplant werden mit kompletter Beschreibung aller Abläufe und klarer Festlegung der Schnittstelle zwischen dem nationalen Wetterdienst und dem Gesundheitsbereich (*Koppe et al. 2004; Kovats und Jendritzky, 2006; WMO 2004*). Hitzewarnsysteme können kurzfristig eingerichtet werden. Die zahlreichen erfolgreichen Systeme, die von Kalkstein und seinen Schülern als WMO/WHO/UNEP Modellprojekte, überwiegend in den USA eingerichtet wurden, gelten als gute Beispiele für den Wert des Verfahrens. In Deutschland gehen die Warnungen des DWD bis auf Landkreisebene herunter.

2.2 Langfristige Anpassungen

Das Klima einer Stadt stellt als Ergebnis einer geplanten oder zufälligen Änderung der Landnutzung ein eindrucksvolles Beispiel einer anthropogenen Klimamodifikation dar. Im Hinblick auf das Thema thermische Bedingungen und Gesundheit in der Stadt muss danach die städtische Wärmeinsel (UHI=Urban Heat Island, eigentlich Wärmeinselarchipel) Gegenstand der Vorsorgeplanung sein. In der umfangreichen Literatur zum Stadtklima basiert die Betrachtung der UHI immer auf dem Unterschied allein der Lufttemperatur zum Umland (*Oke, 1987*), auf den Menschen bezogene Bewertungsverfahren zu nutzen.

Dabei besteht kein Zweifel daran, dass die UHI für die Gesundheit des Menschen bedeutsam sein kann, weil sie nachteilige Gesundheitseffekte durch Exposition gegenüber thermischen Extrembedingungen verursacht. Die städtische Wärmeinsel addiert sich auf die Intensität einer meso-skaligen Hitzewelle, wodurch der Einfluss des Wetters auf Morbidität und Mortalität verstärkt wird. Wenn die UHI als Resultat städtischer Planung angesehen wird, muss sie folglich auch auf zukünftige Planung reagieren. Aber trotz der eindrucksvollen Zunahme stadtklimatologischen Wissens existiert immer noch eine starke Lücke zur Anwendung. Für die mittel- bis langfristige Entwicklung des Stadt-

klimas gilt es, Standards für die Stadtentwicklung zu schaffen, das Wissen besser verfügbar zu machen und leichter anwendbare Werkzeuge für die klimabezogene Stadtplanung zu entwickeln. Das würde dem Stadtplaner helfen, sein grundlegendes Ziel zu erreichen: Schaffung und Sicherstellung gesunder Wohn- und Arbeitsbedingungen. Das Problem der globalen Klimaänderung macht eine nachhaltige Stadtplanung umso dringender.

Neben der Notwendigkeit, durch Planungsmaßnahmen die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel UHI zu verringern, müssen als bisher unterschätztes Problem auch die thermischen Belastungen in den Innenräumen vermindert werden, zumal der Mensch sich in unseren Klimabedingungen überwiegend in Innenräumen aufhält. Es gibt im Grunde genommen keine Information über die wirkliche Hitzebelastung der Bevölkerung in unterschiedlichen Stockwerken unterschiedlicher Häuser; es werden in epidemiologischen Studien einfach die an üblicherweise nicht in den Innenstädten liegenden Wetterstationen bestimmten Belastungen auf die Bevölkerung angewandt. Notwendig ist eine intelligente Architektur, die jetzige und zukünftige Gegebenheiten des Klimas durch Kontrolle der Abschattungsmöglichkeiten, Ventilation, Materialwahl, passive Kühlung etc. berücksichtigt.

3. Extremereignisse

Bereits in den letzten Jahrzehnten kam es zu einer Zunahme der Anzahl von Naturkatastrophen (s.S. 64, Abb. 6). Im 21. Jahrhundert ist jedoch aufgrund des Klimawandels mit einer weiteren Zunahme zu rechnen. In Tabelle 1 sind die für Mitteleuropa relevanten Änderungen und die sich daraus ergebenden vielfältigen gesundheitlichen Risiken aufgeführt. Da extreme Wetterereignisse sich sowohl nach Ausmaß, Zeitablauf oder betroffenen Gebieten als auch nach sozialen Umständen unterscheiden können, sind quantitative Bewertungen über künftige Gesundheitsfolgen sehr schwierig (*McMichael et al., 1997*).

Bereits in den letzten Dekaden wurde in den mittleren und hohen Breiten der Nordhalbkugel eine Zunahme des Niederschlages – vor allem in Form von Starkregenereignissen – beobachtet. Für Mitteleuropa ist das Ausmaß und die Richtung der Niederschlagsänderung jedoch noch unklar. Es gilt jedoch als sehr wahrscheinlich, dass die Häufigkeit extremer Niederschlagsereignisse sowie die Niederschlagsmenge im Winter (Tab. 2) zunehmen werden. Die Niederschlagscharakteristika wie Menge und Intensität sind neben verschiedenen Einzugsgebietsfaktoren (Geologie, Hangneigung, Landnutzung,

Änderung der Extremereignisse	Wahrscheinlichkeit
<i>Einfache Extremereignisse</i>	
intensivere Starkregenereignisse	90 – 99 %
höhere Maximumtemperaturen, erhöhte Anzahl von heißen Tagen und Hitzewellen	90 – 99 %
höhere Minimumtemperaturen, weniger kalte Tage, Eistage und Kältewellen	90 – 99 %
<i>Komplexe Extremereignisse</i>	
erhöhte Intensität von Stürmen in den mittleren Breiten, höhere Sturmfluten	keine Angabe
trockenere Sommer, erhöhtes Dürreerisiko (mittlere Breiten)	66 – 90 %

Tab. 2: Änderungen von Extremereignissen während des 21. Jahrhunderts (IPCC, 2007).

Versiegelungsgrad, u.a.) für die Entstehung von Hochwassern verantwortlich. Überschwemmungen sind schon heute die in Europa am häufigsten vorkommende Naturkatastrophe (Daniel et al., 2002). Sie beeinträchtigen die menschliche Gesundheit auf direkte und indirekte Art und Weise. Bei der Elbe-Flut im August 2002 kamen in Deutschland und Tschechien 36 Menschen ums Leben. Neben Ertrinken und Verletzungen dürften psychische Störungen, wie das posttraumatische Stresssyndrom, das Monate bis Jahre anhalten kann, in Mitteleuropa die am weitesten verbreitete Auswirkung auf die Gesundheit von Erwachsenen nach Überschwemmungen sein. Eine Zunahme von Infektionskrankheiten nach Überschwemmungen gilt in Europa – anders als in Entwicklungsländern – als weniger wahrscheinlich (Hajat et al., 2003).

Im Zusammenhang mit dem erwarteten Anstieg des Meeresspiegels um 18 bis 59 cm bis 2100 nimmt auch das Risiko von Sturmfluten und damit die Wahrscheinlichkeit für Überflutungen der Küstengebiete zu (1991 in Bangladesh 140.000 Tote).

Überflutungen der Küstengebiete schließen den Verlust an landwirtschaftlich nutzbaren Flächen und ggf. auch Fischereirevieren ein. Darüber hinaus kann es zu einer Versalzung von Trinkwasservorkommen kommen.

Neben der Erhöhung des Unfallrisikos bei Stürmen wirken diese sich auch indirekt auf die menschliche Gesundheit durch Schäden an persönlichem Besitz und der Infrastruktur einschließlich Abwasser und Sanitärsystem, Wohnung und Verkehr aus.

Trockenere Sommer können zu einer Abnahme der landwirtschaftlichen Produktion und einer Verminderung von Menge und Qualität des verfügbaren Wassers führen und somit eine Nahrungsmittel- und Wasserknappheit mit den sich daraus ergebenden Folgen bewirken. Die Gesundheitsfolgen einer Dürre schließen grundsätzlich Krankheiten durch Zusammenbruch der sanitären Einrichtungen und schlechte hygienische Verhältnisse mit ein (McMichael et al., 1997), was für Mitteleuropa aber wohl weniger relevant ist. Zudem erhöht sich durch Trockenheit im Sommer das Waldbrandrisiko.

4. Durch Zwischenwirte und Nahrungsmittel übertragene Infektionskrankheiten

Die Voraussetzung für das epidemische oder endemische Auftreten einer durch Zwischenwirte (Vektoren) übertragenen Krankheit ist die Präsenz eines geeigneten, d.h. kompetenten Vektors. Das Klima spielt bei der Populationsdynamik und Verbreitung von Vektoren von Krankheitserregern und für das Auftreten von wasser- (in Mitteleuropa wegen der sanitären Standards wohl auch in Zukunft nicht bedeutsam) und nahrungsmittelübertragenen Infektionen eine wichtige Rolle. Innerhalb eines gewissen Temperaturbereiches besteht meist eine positive Korrelation zwischen der Entwicklungsgeschwindigkeit der Pathogene im Vektor und der Temperatur. Daher ist zu erwarten, dass Klimaänderungen gerade die Bionomie von Vektoren und der von ihnen übertragenen Parasiten beeinflussen.

Zu den bedeutendsten Überträgern von Infektionskrankheiten zählen Insekten (u.a. Stechmücken, Läuse, Flöhe), Spinnentiere (Zecken) und Nagetiere (Ratten, Mäuse). Diese Tierarten zeichnen sich durch die Eigenschaft aus, sich relativ schnell veränderten Umweltbedingungen anpassen zu können. Kurzfristige und längerfristige Klimavariabilität kann damit deutliche Auswirkungen auf die Ausbreitung von Vektoren und damit auch auf die Ausbreitung der von ihnen übertragenen Erkrankungen haben (Dobler und Jendritzky, 1998).

In Deutschland sind derzeit 24 von Arthropoden oder Nagetieren übertragene Infektionskrankheiten endemisch. Von diesen Infektionskrankheiten werden die meisten durch Schildzecken übertragen (Faulde und Hoffmann, 2001). Eine Zusammenstellung der von Zecken übertragenen Infektionskrankheiten befindet sich in Tabelle 3. Die Zeckenarten, welche in Mitteleuropa sowohl Viren, Bakterien als auch Protozoen übertragen können, gehören zu einem

Teil der heimischen Zeckenfauna an, zum anderen Teil handelt es sich um Arten, die aus wärmeren Regionen Europas (z.B. Tiertransporte, Zugvögel) zu uns gelangen können (Maier, 2002). Zecken kommen in Europa vom Mittelmeerraum bis Süd-Skandinavien vor (Abb. 5). Sie sind jedoch häufiger in den etwas feuchteren Gegenden Mittel- und Nordeuropas zu finden als im eher trockenen südlichen Raum. Es handelt sich bei Zecken um mehrjährige Tiere, deren Ausbreitungsgebiet durch niedrige Wintertemperaturen und kurze Sommer begrenzt wird. Eine Änderung des Klimas wird sowohl die Überlebensrate der Zecken direkt beeinflussen als auch indirekt Einfluss auf die Übertragung der Krankheitserreger über Änderungen der Vegetation, Zwischenwirte (Nager) und des Freizeitverhalten des Menschen nehmen.

Zecken übertragen in Mitteleuropa zwei wichtige Erkrankungen, die Lyme-Borreliose und die Frühsommer-Meningoenzephalitis („Zeckenenzephalitis“, FSME) (Dobler und Jendritzky, 1998). Die Lyme-Borreliose ist die häufigste von Zecken übertragene Krankheit in Deutschland mit einer jährlichen Inzidenzrate von 20 bis 60 Tausend Fällen. In den Risikogebieten Europas sind 20 – 30 % der Zecken mit dem Überträger der Lyme-Borreliose infiziert (Daniel et al., 2002). Die Transmissionsrate von Borrelien liegt nach Angaben von Maier (2002) bei ca. 22 %. Dies bedeutet, dass in Hochendemiegebieten fast jeder 10. Zeckenbiss zu einer Borrelien-Infektion führt. Nach neueren Untersuchungen ist in den bekannten Endemiegebieten Deutschlands jede 20. bis 50. Zecke ein potenzieller FSME-Überträger. In den Nicht-Endemiegebieten gilt dies nur für jede 100. bis 300. Zecke.

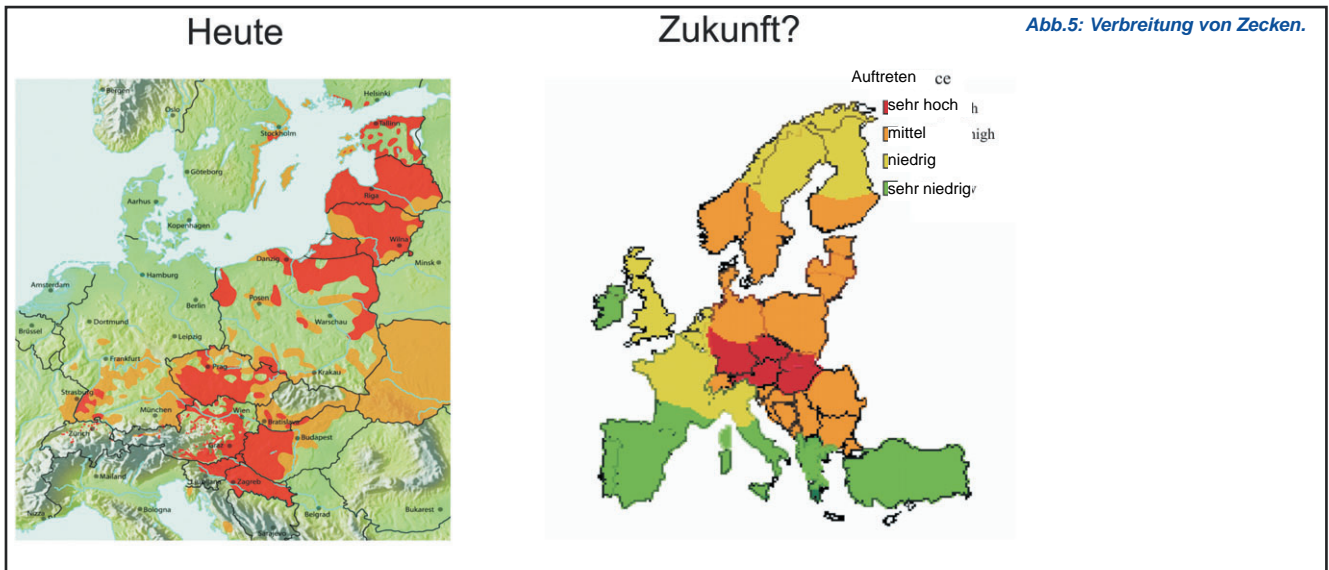
Für beide Erkrankungen konnte in den letzten Jahren ein deutlicher Anstieg der Erkrankungszahlen registriert werden. Die in den letzten Jahren vermehrt beobachteten milden Winter führten zu einer höheren Überlebensrate von Zecken und kleinen Waldnagern, den natürlichen Wirten der beiden Erreger. Damit konnte der Übertragungszyklus in den darauf folgenden Jahren auf einem sehr viel höheren Niveau beginnen, da nicht erst entsprechende Zecken- und Nagerpopulationen aufgebaut werden mussten. In der gemäßigten Klimazone Mitteleuropas muss auch in niedrigen und mittleren Höhen mit einer Zunahme vektorübertragener Erkrankungen gerechnet werden. Dabei stellt nördlich der Alpen von allen Infektionskrankheiten mit Klimabezug auf der Gesamtbevölkerungsebene die Borreliose das bedeutendste Infektionsrisiko dar.

Eine Zusammenstellung der durch *Stechmücken* übertragenen Infektionskrankheiten und potenzielle Reservoirwirte für diese Krankheiten in Deutschland befindet sich in Tabelle 4. Die wich-

tigste durch Stechmücken übertragene Erkrankung ist die Malaria. Malaria wird von verschiedenen Arten der Stechmücken-Gattung *Anopheles* übertragen. *Anopheles*-Arten kommen weltweit vor. Bis nach dem zweiten Weltkrieg war die Malaria in Deutschland verbreitet. Die Infektionen der deutschen *Anopheles* waren vermutlich überwiegend durch *P. vivax* verursacht. Heute wird die Malaria nur in tropischen und subtropischen Regionen übertragen, da die Vermehrung der Erreger in den Mücken unter 18 °C (*Plasmodium falciparum*) bzw. 14 °C (*Plasmodium vivax*) zum Stillstand kommt (McMichael, 1996; WHO/WMO/UNEP, 1996). Damit sind der Malaria klimatische Grenzen in ihrer Verbreitung gesetzt, die allerdings durch eine Klimaänderung ausgedehnt werden. Um die quantitative Prognose klimabedingter Veränderungen auf die mögliche Verbreitung von Malaria zu verbessern, wurden integrierte mathematische Modelle ent-

Erreger	Krankheit
<i>FSME-Virus</i>	Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)
<i>Eyach-Virus</i>	Eyach-Virus Fieber, Colorado-Zeckenfieber ähnliche Erkrankung (CTF)
<i>Erve-Virus</i>	Erve-Virus Fieber
<i>Tibec-Virus</i>	Neuropathologische Störungen, Meningoenzephalitis ?
<i>Uukuniemi-Virus</i>	Enzephalitis, neuropathologische Störung
<i>Rickettsia slovaca</i>	Zeckenfleckfieber
<i>Rickettsia conorii</i>	Mittelmeerfleckfieber, Altweltzeckenfieber, Fièvre boutonneuse
<i>Coxiella burnetii</i>	Q-Fieber
<i>Agens der Humanen granulocytären Ehrlichiose (HGE)</i>	Humane granulocytäre Ehrlichiose (HGE)
<i>Borrelia burgdorferi sensu stricto, Borrelia garinii, Borrelia afzelii, Borrelia valaisiana</i>	Lyme-Borreliose
<i>Francisella tularensis</i>	Tularämie (Hasenpest)
<i>Babesia divergens, Babesia microti</i>	Babesiose

Tab. 3: In Deutschland (kursiv) und in Europa nachgewiesene Krankheitserreger, die von Zecken übertragen werden können (Maier, 2002).



wickelt, welche auf globalen Zirkulationsmodellen basierende Klimaänderungsszenarien mit Modellen der Vektoraktivität verbinden. Im südlichen Mitteleuropa muss demnach mit der Möglichkeit des Wiederauftretens von *Malaria Vivax* gerechnet werden (McMichael et al., 1997).

Eine durch die Sandfliege übertragene Infektionskrankheit ist die Leishmaniose. Der Leishmaniose-Parasit ist an Wintertemperaturen von 5 bis 10 °C und an Sommertemperaturen von 20 bis 30 °C gebunden. Die Ausbreitung der Sandfliege selber ist an die 10 °C Isotherme gebunden, welche in Deutschland derzeit bei Köln liegt. Im Sommer 1999 wurden Sandfliegen auch im südlichen Oberrheingraben in Vergesellschaftung mit dem Menschen nachgewiesen (Silva-González, 1997). Eine Temperaturerhöhung in Europa wird das Ausbreitungsgebiet der Sandfliege weiter nach Norden ausdehnen. Eine Verlängerung der sommerlichen Aktivitätsperiode kann weiter dazu führen, dass zwei anstatt einer Generation pro Jahr gezeugt werden und damit zu einer erhöhten Vektorenhäufigkeit führen (Daniel et al., 2002).

Nagetiere können ebenfalls Infektionskrankheiten (z.B. Pest, Hantavirus) übertragen. Drei wichtige, die Populationsgröße beeinflussenden Faktoren sind Nahrungsangebot, Anzahl der Fressfeinde und Wetterbedingungen. Das Nahrungsangebot wird von klimatischen Faktoren beeinflusst, die Populationsdynamik der meisten Fressfeinde verläuft sehr viel langsamer als die der Nagetiere. Hantaviren werden mit dem Kot, Urin oder Speichel von Nagetieren ausgeschieden und können bei Kontakt auf den Menschen übertragen werden. Serologische Untersuchungen an Nagern in Baden-Württemberg zeigen eine Hantavirus-Antikörper-Prävalenz von bis

zu 30 %. Dies ist ein Zeichen dafür, dass von diesen Tieren wahrscheinlich lebenslang abgehende Viren eine reelle Infektionsgefahr darstellen (Silva-González, 1997).

Auch zahlreiche durch Nahrungsmittel übertragene Erkrankungen zeigen ein saisonales Verhalten. Die damit anzunehmende Abhängigkeit von Wetter und Klima wird allerdings nur bei der Übertragung von Salmonelleninfektionen deutlich, die stark von der Lufttemperatur der vergangenen Woche abhängen. Die Schwellen sind jedoch so niedrig, dass in einem zukünftigen wärmeren Klima kaum mit einer Zunahme gerechnet werden muss. Allerdings wird die Rolle von kritischen Temperaturschwellen auf dem Weg des Nahrungsmittels von der Produktion bis zum Verzehr noch nicht komplett verstanden. Für *Campylobacter* werden in Europa zwar möglicherweise vom Klima abhängige Variationen von Jahr zu Jahr gefunden, aber keine Beziehungen zur Witterung.

5. Luftbelastung

Eine höhere Lufttemperatur kann vor allem im Umfeld der Städte zu einer vermehrten Bildung von Photooxidantien führen. Als Nachweis dafür werden Messungen des bodennahen Ozons verwendet. Es gibt Hinweise auf Synergieeffekte zwischen der Wirkung von Wärme- und Luftbelastung auf die Gesundheit (Smoyer, et al., 2000). Studien weisen auf einen starken positiven Zusammenhang zwischen der Entstehung bodennahen Ozons und Lufttemperaturen über 32 °C hin (Patz und Kovats, 2002). Es ist jedoch noch unklar, ob es sich dabei um regional unterschiedliche oder allgemeingültige Beziehungen handelt.

Erreger	Krankheit	Potenzielles Reservoir in Deutschland
<i>Plasmodium vivax</i>	Malaria tertiana	Mensch
<i>P. malariae</i>	Malaria quartana	Mensch
<i>P. falciparum</i>	Malaria tropicana	Mensch
<i>Dengue Virus</i>	Denguefieber	Mensch, Haus- und Wildtiere
<i>Gelbfieber- Virus</i>	Gelbfieber	Mensch
<i>Sindbis-Virus</i>	Sindbis Erkrankungen	Wildvögel
<i>Semliki-Forest-Komplex-Virus</i>	Neuropathologische Störungen	
<i>West-Nil-Virus</i>	West-Nil-Virus Erkrankungen	Wildvögel, Pferde
<i>Batai (Colovo)-Virus</i>	Batai-Virus Erkrankungen	Wildvögel
<i>Tahyna-Virus</i>	Tahyna-Virus Erkrankungen	Vögel, Lagomorpha, u.a. Säugetiere
<i>Uukuniemi-Virus</i>	Enzephalitis, neuropathologische Störungen	Waldnager, Wasservögel
<i>Dirofilaria repens</i> <i>D. immitis</i>	Befall von Haut und Lunge	Hund

Tab. 4: Tabelle der in Deutschland (gelb) und Europa (kursiv) nachgewiesenen Krankheitserreger, die von Stechmücken übertragen werden können (Maier, 2002).

Ozon kann die Sensitivität von Asthmapatienten gegenüber Allergenen erhöhen (Patz und Kovats, 2002). Die meisten Studien über Luftverschmutzungen, Klima und Gesundheit konzentrieren sich mehr auf akute als auf längerfristige Gesundheitsauswirkungen. Länger andauernde Exposition kann bei bisher gesunden Menschen chronische Leiden hervorrufen (McMichael et al., 1997). So kann Ozon bei Kindern an der Ausbildung von Asthmaerkrankungen beteiligt sein (Patz und Kovats, 2002). Zudem gibt es verschiedene Rückkopplungsmechanismen zwischen der Außentemperatur und dem Heiz- und Kühlverhalten der Menschen und damit dem Ausstoß von Luftschadstoffen (Patz et al., 2000). Wegen der starken Reagibilität von Ozon sind die Ozonkonzentrationen in Innenräumen deutlich reduziert.

Klimabedingte Veränderungen bei der Entstehung und Wirkungsdauer von Pollen, Sporen und gewissen Schadstoffen können Asthma, allergische Störungen sowie Herz- und Atemwegserkrankungen auslösen. Durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode ist mit einem früheren Beginn des Pollenfluges im Jahr, einer Zunahme der Pollenmenge und damit verbundenen Beschwerden bei Personen mit Pollinose zu rechnen. Allerdings gibt es hier noch beträchtliche Unsicherheiten, weil die aktuelle Pollenkonzentration ganz entscheidend vom Wetter während der Pollensaison beeinflusst wird (z.B. Abnahme der Pollenkonzentration bei Niederschlägen) und diese Detailgenauigkeit in den Klimaprojektionen noch nicht gegeben ist.

Zusätzlich ist eine Zunahme des Potentials allergener Pollen durch Neophyten zu beobachten. Insbesondere die Beifußblättrige Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) zeigt in den letzten Jahren eine starke Ausbreitung in Europa, die u.a. auch einen klimatologischen Trend widerspiegelt. Große Populationen existieren in Ungarn, Slowakei, Rumänien, Serbien, Bosnien-Herzegowina und Kroatien, während die Kenntnisse über die Verbreitung in Deutschland noch sehr lückenhaft sind.

6. Stratosphärische Ozonabnahme und UV-Strahlung

Obwohl nicht eigentlich ein Thema des globalen oder regionalen Klimawandels, gehen auch von der stratosphärischen Ozonabnahme in etwa 10 – 50 km Höhe über die veränderte UV-Strahlung Gesundheitswirkungen aus. Die anthropogen freigesetzten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und damit die Chlorchemie spielen eine große Rolle für die Ozonverluste. Ganz besonders deutlich prägt sich das im Ozonloch über der Antarktis aus, das kurz nach dem Zeitpunkt auftritt, zu dem die Sonne nach dem Winter erstmals wieder über dem Horizont erscheint. Dies ist in den ersten beiden Oktoberdekaden der Fall. Das Ozonloch ist definiert als Abfall der Ozonsäule unter 50 % des Wertes, der klimatologisch zu erwarten wäre. Aber auch in den mittleren Breiten der Nordhalbkugel

zeigt das stratosphärische Ozon eine eindeutige Abnahme um ca. 3 % pro Dekade (Abb. 6a). Im Frühjahr, wenn die Haut noch nicht an die Sonne gewöhnt ist, sind mit um 6 % in 10 Jahren, 18 % seit Beginn der Messungen 1968 die stärksten Ozonverluste zu verzeichnen. Mit Hilfe des so genannten Strahlungsverstärkungsfaktors lässt sich daraus abschätzen, dass die sonnenbrandwirksame UV-Strahlung in den letzten 30 Jahren im Frühjahr um bis zu 25 % zugenommen haben müsste. Im Sommer beträgt die Zunahme immer noch knapp 10 % seit Beginn der Messungen (Abb. b für 305 nm Wellenlänge). Diese Zunahme der UV-Strahlung wurde bisher nur in alpinen Höhenlagen beobachtet. Dass dies in den Niederungen noch nicht der Fall ist, liegt wahrscheinlich an der höheren Luftverschmutzung und der Überlagerung durch die sehr variable Bewölkung. Die Modellrechnungen für ausgesuchte Wetterlagen mit sehr klarer Luft ohne Bewölkung zeigen darüber hinaus bei abnehmender Wellenlänge, d.h. zunehmender biologischer Wirksamkeit, einen überproportional zunehmenden Trend. Dies wird zu einer erhöhten

Hauttumorraten (besonders bei den Nichtmelanomen) bei der hellhäutigen Bevölkerung führen und wahrscheinlich auch zu einer Zunahme beim Auftreten von Katarakten (ICNIRP, 1995). Möglicherweise kommt es auch zu einer Immunsuppression im Organismus (Van Loveren, 1998).

Die beobachtete drastische Zunahme von Neubildungen von Hauttumoren ist – soweit UV-bedingt – Ausdruck von Missbrauch durch falsches Expositionsverhalten. Zum Schutz vor Überdosierung wird routinemäßig der UV-Index, ein durch WMO, WHO, UNEP und ICNIRP international standardisiertes Maß für die Stärke der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung vorhergesagt (ICNIRP, 1995; Van Loveren, 1998; WMO, 1998; Staiger und Claude, 2002). Er berücksichtigt alle Größen, welche die UV-Strahlung beeinflussen, besonders die Bewölkung und das Gesamt Ozon. Der UV-Index bietet damit Umweltinformation und die Möglichkeit zur Gesundheitsvorsorge.

Eine erhöhte UV-Strahlungsintensität kann sich auch nachteilig auf die (auch aquatische) Biomasseproduktion und damit auf die Nahrungsmittelproduktion des Menschen auswirken. Das Ausmaß dieses Effektes ist unsicher und für Mitteleuropa wohl auch von geringer Bedeutung.

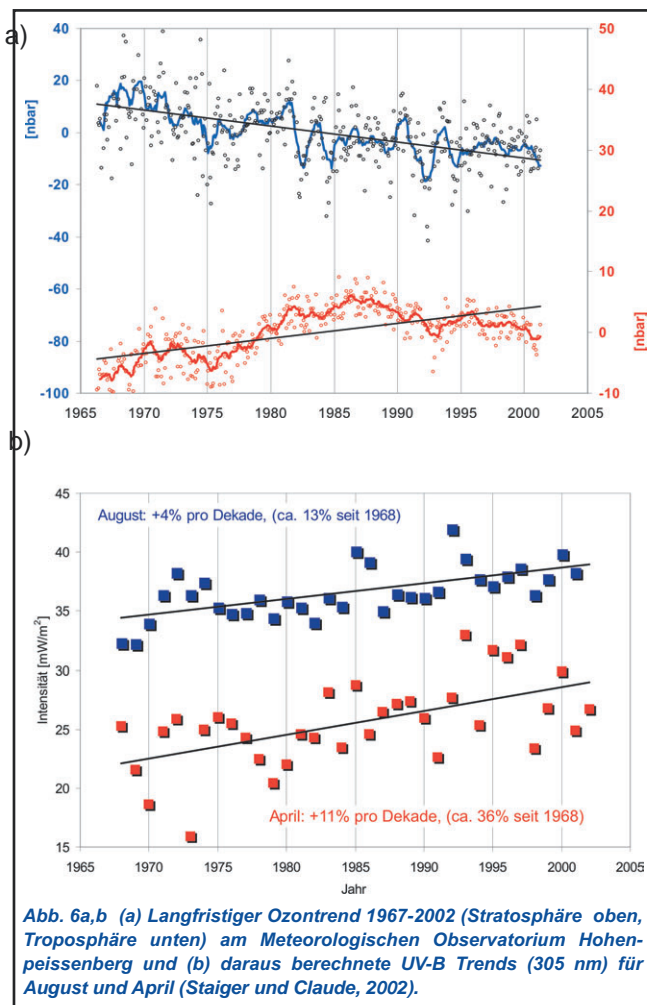
7. Diskussion

Der Klimawandel konfrontiert uns mit Gesundheitsrisiken völlig neuer Größenordnung und Qualität (WHO/WMO/UNEP, 1996). Es müssen Überwachungssysteme aufgebaut werden, die Gesundheits- und Umweltinformationen systematisch miteinander verknüpfen und Änderungen bei relevanten Gesundheitsrisiken frühzeitig erkennen lassen. Zudem muss eine Sensibilisierung der Mediziner bezüglich der Diagnosen von bislang nicht endemischen Krankheiten in Mitteleuropa erfolgen.

Die Risikobewertung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die menschliche Gesundheit unterscheidet sich deutlich von der bisherigen epidemiologischen Forschung in der Umweltmedizin. Gründe sind (Menne et al., 2000):

- der große räumliche Maßstab (regionale/ globale im Vergleich zu lokalen Auswirkungen),
- die zeitliche Zuordnung und der lange zeitliche Rahmen,
- die hohe Komplexität der Systeme.

Daraus ergibt sich eine Akkumulation von Unsicherheiten als unvermeidbarer Bestandteil solcher Untersuchungen. Bereits die Zukunftsprojektionen der Umweltveränderungen (z.B. die Höhe des Temperaturanstiegs) enthalten zahlreiche wissen-



schaftliche Unsicherheiten. Weitere Unsicherheiten ergeben sich aus unvollständigen Kenntnissen über die Zusammenhänge von Gesundheit und Klima (z.B. die Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen thermischer Belastung und Mortalität). Zudem ergeben sich soziale und ökonomische Unsicherheiten aus der inhärenten Unberechenbarkeit der zukünftigen politischen, sozio-ökonomischen, demographischen und technologischen Entwicklung (IPCC, 2007). Bevölkerungsentwicklung, landwirtschaftliche Produktionsverfahren, neue Technologien zur Energiegewinnung, Impfstoffentwicklung, Trends der Urbanisierung, etc. werden die Folgen des Klimawandels mitbestimmen.

Trotz der Unsicherheiten, welche die Bewertung der tatsächlichen Risiken erschweren, ist es dringend geboten, bereits jetzt Anpassungsstrategien zur Risikominimierung zu entwickeln und zu erproben. Anpassungsstrategien können beispielsweise folgende Maßnahmen beinhalten: öffentliche Aufklärungsmaßnahmen zur Beeinflussung individueller Verhaltensmuster, Frühwarnsysteme, Katastrophenvorsorge, verbesserte Wasser- und Schadstoffkontrolle, Hygieneprogramme, Kontrolle ansteckender Krankheiten, Ausbildung von Forschern und Gesundheitsexperten sowie die Einführung präventiver Technologien. Nur über solche Anpassungsstrategien kann die Anpassungskapazität erhöht und damit die Verwundbarkeit unserer Bevölkerung gegenüber den gesundheitlichen Folgen eines wohl unvermeidlichen globalen und regionalen Klimawandels reduziert werden.

Literatur

- Beniston, M. (2004): The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophys. Res. Letters* 31, 02202. 1-4.
- Daniel, M. et al. (2002): Climate change impacts on health in Europe. *European Bulletin of Environmental Health*; 9: 8-10.
- Dobler, G., Jendritzky, G. (1998): Krankheiten und Klima. In: Lozán, J.L., Graßl, H., Hupfer, P. (Hrsg.): Warnsignal Klima – Wissenschaftliche Fakten. Wiss. Auswertungen. Hamburg, 334-340.
- Eurowinter Group (1997): Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe, *Lancet*, 349: 1341-1346.
- Faulde, M. & Hoffmann, G. (2001): Vorkommen und Verhütung vektorassoziierter Erkrankungen des Menschen in Deutschland unter Berücksichtigung zoonotischer Aspekte. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, 44(2) 116-136.
- Hajat, S. et al. (2003): The human health consequences of flooding in Europa and the implications for public health: a review. *Applied Environmental Science and Public Health*, in press.
- ICNIRP (1995): Global Solar UV Index. A joint recommendation of WHO, WMO, UNEP and the ICNIRP. Int. Comm. on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP-1/95. Oberschleißheim.
- IPCC WG I (2007): Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://ipcc-wg1.ucar.edu>
- IPCC WG II (2007): Climate Change 2007: Technical Summary: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. www.ipcc-wg2.org
- Jendritzky, G. et al. (1998): Medizinische Klimatologie. Kap. 4,7 Klimaänderungen. In: Chr. Gutenbrunner, G. Hildebrandt (Hrsg.): Handbuch der Balneologie und medizinischen Klimatologie. Berlin: Springer; 589-598.
- Jendritzky, G. (2000): Die Auswirkungen von Klimavariabilität und Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen in Mitteleuropa. *Umwelt-Medizin-Gesellschaft* 13: 219 – 223.
- Koppe, C., S. Kovats, G. Jendritzky, B. Menne (2004): Heat-waves: risks and responses. World Health Organization. *Health and Global Environmental Change, Series*, No. 2, Copenhagen, Denmark.
- Koppe, C. 2005: Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. *Ber. d. DWD* 226, Offenbach.
- Kosatzky, T. 2005: The 2003 European heat waves. *Euro Surveillance* 2005; 10(7).
- Kovats, S.R., G. Jendritzky 2006: Heat-waves and Human Health. In: Menne, B., K. L. Ebi (eds.): Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health. *Steinkopff*, Darmstadt, 63-97.
- Laschewski, G., Jendritzky, G. 2002: Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Climate Research* 21, 91 – 103.
- Maier, W.A. (verantwortlich) 2002: Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigsten Humanparasiten in Deutschland. Abschlussbericht zum F+E – Vorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes FKZ 200 61 218/11. Universität Bonn.
- McMichael, A.J. (1996): Human Population Health. In: Climate Change 1995. Impacts, Adaptions and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. 2nd Assessment Report of IPCC-WG II. Cambridge: Cambridge University Press 561-584.
- McMichael, A.J., Jendritzky, G. & Kovats, S. (1997): Klimaänderung und Gesundheit (Kap. VIII – 1.10). In: Wichmann, H.E., Schlipkötter, H.W., Fülgraff, G. (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin. Landsberg: ecomed, 1-21.

- Menne, B. et al. (2000): Methoden zur Erforschung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Gesundheit. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 5: 193 – 200.
- Münchner Rückversicherung 2003: Topics 2002: Jahresrückblick Naturkatastrophen 2002. Verfügbar unter: www.munichre.com/pdf/topics_2002_d.pdf.
- Patz, J.A. et al. (2000): The potential health impacts of climate variability and change for the United States: Executive Summary of the Report of the Health Sector of the U.S. National Assessment. *Environmental Health Perspectives* 108: S. 367-375.
- Patz, J. A. & Kovats, R. S. (2002): Hotspots in climate change and human health. *BMJ* 325, 1094 – 1098.
- Oke, T.R. (1987): *Boundary Layer Climates*, London, 453p.
- Schär, C., G. Jendritzky (2004): Hot news from Summer 2003. news and views. *Nature*. Vol.432, 2 Dec 2004, 559-560.
- Silva-González, R. (1997): Epidemiologie von Hantavirusinfektionen auf der Schwäbischen Alb. In: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Jahresbericht 1997, 30.
- Smoyer, K.E. et al. (2000): The impacts of weather and air pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania. *International Journal of Climatology* 20: 881-897.
- Staiger, H., Bucher, K., Jendritzky, G. (1997): Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl Grad Celsius. *Annalen der Meteorologie*, DWD, Offenbach a. M., 100 – 107.
- Staiger, H., Claude, H. (2002): Special topic: GME Large-Scale UV Index Forecasts. In: Quarterly Report of the German NWP System 1: 12-25.
- Tinz, B., Jendritzky, G. (2007): Meso- and Macro-Scale Maps of the Thermal Environment of the Human Being. In Vorbereitung.
- Van Loveren, H. (1998): Effects on the immune system of human UV exposure associated with stratospheric ozone depletion. Rome: WHO ECEH.
- WHO/WMO/UNEP-Task Group (1996): Climate Change and Human Health. McMichael, A.J., A. Haines, R. Sloof, S. Kovats (eds.). Geneva: WHO.
- WMO (1998): Report of the WMO-WHO Meeting of Experts on Standardization of UV Indices and their Dissemination to the Public. (Les Diablerets, Switzerland, 21 - 24 July 1997). World Meteorological Organization, Global Atmospheric Watch. No 127, WMO/TD-No. 921.
- WMO (2004): Proceedings of the Meeting of Experts to Develop Guidelines on Heat/Health Warning Systems. WCASP- No. 63, WMO-TD No. 1212, Geneva.